L'archéologie des abysses

Temps de lecture : 17 min



L'archéologie des abysses

Le Département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines (DRASSM), créé en 1966 par le ministre des Affaires Culturelles André MALRAUX, est le premier département au monde d'archéologie sous-marine.

Jusqu'alors, cette discipline passionnante mais exigeante s'est malheureusement, sauf en de rares occasions, limitée à une soixantaine de mètres de fond laissant des milliers d'épaves des grands fonds hors d'atteinte de la main expérimentée de l'archéologue plongeur.

L'enjeu pour le DRASSM est aujourd'hui d'inventer, avec ses partenaires, l'archéologie de demain, celle des abysses, grâce à des outils robotiques qui permettront de réaliser, dans le futur, des fouilles archéologiques méthodiques jusqu'à 2 000 mètres de profondeur, repoussant ainsi les limites de l'exploration et du travail sous-marin de précision.

Ce dossier retrace les grandes phases du développement de l'archéologie des abysses initiée en 2006 par Michel L'HOUR, Directeur du DRASSM.

> *L'idée, c'était de faire en sorte que la machine sous l'eau ne soit plus que le prolongement du scientifique. C'est essentiel pour retraduire la précision du geste d'un archéologue. Demain, on travaillera et étudiera par 1 000 ou 2 000 mètres de fond avec le même souci méthodologique et les mêmes exigences scientifiques qu'on applique et requiert aujourd'hui d'un chercheur équipé d'un scaphandre autonome. Ocean One est la machine qui fera oublier à l'humain qu'il n'est pas lui-même au fond.*
>
> **Michel L'HOUR**

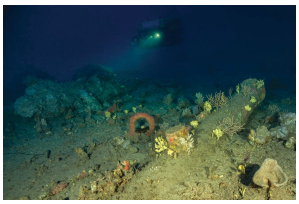
Le projet de chantier laboratoire

En 2006, Michel L'HOUR décide d'élaborer avec son équipe un grand projet de chantier laboratoire où seront expérimentées des techniques de fouilles inédites sur des épaves en grande profondeur.

Le choix du chantier expérimental se porte rapidement sur l'épave de la *Lune* découverte le 15 mai 1993 par Paul-Henri NARGEOLET lors d'une plongée d'essai du *Nautile*, sous-marin d'exploration de l'Ifremer.

Cette épave repose par 90 mètres de fond, une profondeur idéale pour une expérimentation car elle est suffisante pour garantir la validité de l'expérience et reste en même temps dans des limites bathymétriques raisonnables.

Il est ainsi possible tout à la fois d'expérimenter de nouvelles pratiques d'exploration scientifique et de permettre à des humains d'accéder rapidement au site pour vérifier le travail accompli.



L'épave de la Lune repose par 90 mètres de profondeur © Frédéric Osada-Teddy Seguin/DRASSM

De plus, la *Lune* est devenue mythique en raison de son naufrage soudain et inexpliqué en 1664. Faute d'archives sur l'histoire maritime du 17e siècle, l'épave devient un précieux témoin de la Marine de guerre de l'époque. Magnifiquement conservée, elle est un site archéologique de premier ordre.

> *Ce bateau est l'une des plus belles épaves au monde car il a sombré en restant quasiment intact. En plus, à cette profondeur, les pilleurs amateurs n'ont pas pu y accéder et les sédiments l'ont incroyablement protégé... Pour les historiens, c'est un trésor et un témoin extraordinaire du 17e siècle.*
>
> **Michel L'HOUR**

99

L'exploration de la *Lune* : un chantier laboratoire pour l'archéologie des abysses

En 1664, Louis XIV, jeune monarque ambitieux, souhaite un coup d'éclat pour asseoir son autorité. Conseillé par COLBERT et le chevalier PAUL, l'un des marins les plus célèbres du 17e siècle, il opte pour la guerre navale contre les Barbaresques car ces corsaires redoutables tiennent la Méditerranée et y pratiquent à grande échelle le commerce des esclaves.

Forte de plusieurs dizaines de navires, l'expédition commandée par le duc de BEAUFORT, cousin du roi et petit-fils d'Henri IV, s'empare du port de Djidjelli (Algérie) en juillet 1664. Mais le 5 octobre, 12 000 Kabyles et Turcs attaquent le camp français. Sapée par les assauts de l'ennemi et les tergiversations de l'état-major, l'armée la plus puissante du monde doit battre en retraite le 31 octobre...

De retour à Toulon le 5 novembre 1664, l'expédition, devenue encombrante car son échec humilie le jeune roi et ses conseillers, n'est plus la bienvenue. Refoulée en quarantaine vers les îles d'Hyères, la *Lune*, fleuron de la Marine Royale, est déjà à bout de souffle. Bien que le vaisseau prenne l'eau de toutes parts, les charpentiers du roi le déclarent apte à naviguer.

Le drame est noué : le 6 novembre 1664, à cinq milles de Toulon, la *Lune* « coule comme un bloc de marbre », selon le duc de BEAUFORT. Entre 540 et 1 200 soldats et hommes d'équipage (900 selon BEAUFORT) périssent. Il y eut au mieux de 20 à 40 survivants.

15 mai 1993... Lors d'une plongée d'essai, Paul-Henri NARGEOLET à bord du sous-marin *Nautile* de l'Ifremer découvre une épave par 90 mètres de fond, au large de la presqu'île de Giens. Quasi-intact, le vieux navire gît, enfoui, très légèrement incliné sur bâbord, à quelques milles des côtes. Tout autour ou au sein de l'épave s'étalent des vestiges d'un autre temps : gréement, vaisselle, objets personnels, épées, coffres, pièces d'artillerie...

Le 24 mai 1993, une expertise du site est conduite par Luc LONG du DRASSM à bord du *Nadir*, navire-support du

Nautile.

Le *Nautile* dépose à cette occasion sur l'épave une douzaine de règles graduées, de 2 mètres de longueur, ainsi que 8 mires altimétriques et un cube de calibration afin de mesurer les déformations visuelles. Des prises de vues verticales sont réalisées.

Trente-six pièces d'artillerie sont également localisées. Mais dans les années 1990, les moyens technologiques ne sont pas assez puissants pour extraire les vestiges sans les endommager. L'analyse des mobiliers observés et le recoupement des données archéologiques avec la documentation d'archives alors recensée ont aussitôt permis d'identifier l'épave découverte comme celle de la *Lune*.

Le 27 janvier 1994, le DRASSM requiert que le site de la *Lune* soit interdit à la plongée afin de protéger l'épave d'éventuels pillages.

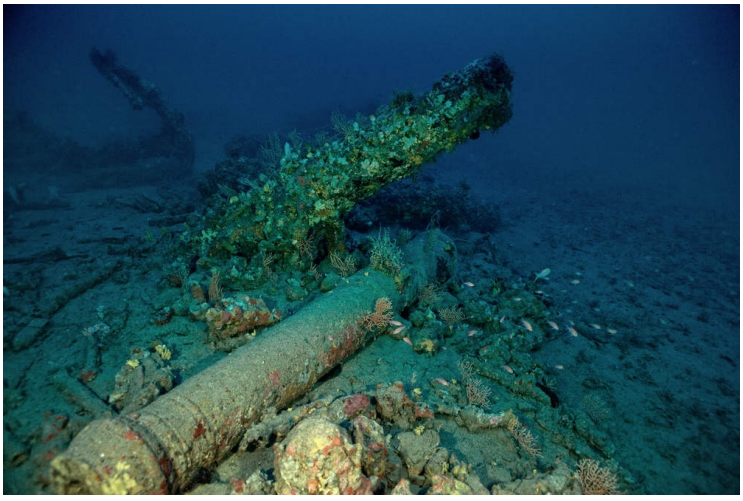
Le 18 avril 1997, l'épave fait l'objet d'une unique visite officielle de contrôle avec le robot téléopéré *Super Achille* de la COMEX.

Malgré l'interdiction de plongée sur le site, des plongeurs munis de recycleurs parviennent à piller l'épave. En 2005, après une enquête menée par Michel L'HOUR, des objets, comme une cloche en bronze richement décorée de quatre blasons, sont retrouvés et réintégrés par le DRASSM dans les collections publiques.

Entre 2007 et 2012, Michel L'HOUR prépare activement une première campagne de fouilles sur la *Lune*, convainquant de nombreux partenaires institutionnels, industriels et médiatiques de l'importance de ce chantier expérimental. Fouiller une épave par 90 mètres de profondeur relève véritablement du défi !

> *Être présent dans l'exploration des biens culturels maritimes localisés par grand fond est de fait un challenge que la France, patrie de naissance de l'archéologie sous-marine et des explorations de l'abysse, ne peut pas se permettre de négliger.*
>
> **Michel L'HOUR**

99



Deux canons sur l'épave de la Lune © Frédéric Osada, Teddy Seguin/DRASSM

Parmi les partenaires qui acceptent de se joindre à ce formidable challenge, citons :

- Le Cephismer (Cellule plongée humaine et intervention sous la mer) de la Marine nationale dont le scaphandre rigide NewtSuit explore la *Lune* le 18 mars 2012.
- L'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (Ifremer) dont le robot sous-marin autonome *AsterX* intervient sur la *Lune* le 16 mars 2012 (campagne ESSAUV12-2), fournissant des images inédites des reliefs et des contours des objets qui équipaient la *Lune*, en particulier, quelques-uns des 48 canons.
- Le département Géosciences Marines de l'Institut de Physique du Globe de Paris (CNRS) et l'Université de Gérone (Espagne) qui dressent, du 28 au 30 août 2012, avec l'aide du robot sous-marin autonome (AUV) Girona 500, une cartographie 2,5D de l'épave de la *Lune*.
- L'École Nationale Supérieure de Techniques Avancées (ENSTA ParisTech) dont une élève ingénieur de 3e année, Maylis GARCIA, est chargée d'étudier la faisabilité d'un nouvel engin sous-marin adapté.
- Dassault Systèmes SA « The 3D Experience Company » qui permet aux archéologues de visiter, à l'aide de casques de réalité virtuelle, l'épave reconstituée en 3D à partir des données réelles du terrain. L'objectif est à terme de permettre aux archéologues d'assurer de manière totalement autonome l'expertise et l'analyse des épaves perdues par très grande profondeur.
- A-Corros et Eiffage Branche Métal chargés d'assurer le traitement des mobiliers métalliques remontés de l'épave.

Ce grand programme de recherche expérimental attire rapidement les médias.

La chaîne publique franco-allemande ARTE, en coproduction avec d'autres partenaires (Grand Angle Productions, Dassault Systèmes…), propose à Michel L'HOUR un tournage en 3D d'un documentaire qui doit rendre compte des travaux conduits par les archéologues du DRASSM sur la *Lune*.

La Compagnie Maritime d'Expertise (COMEX) est ainsi mandatée par Grand Angle Productions pour réaliser des images sous-marines, à l'aide de son sous-marin Remora 2000 et de son robot téléopéré *Achille M4*.



Simulateur 3D permettant aux archéologues et aux techniciens de s'entraîner avant les interventions réelles sur site © DRASSM/Dassault Systèmes

> *Il est primordial que le plus grand nombre puisse voir les épaves et prendre conscience de notre travail et de l'intérêt de ce patrimoine immergé.*
>
> **Michel L'HOUR**

99

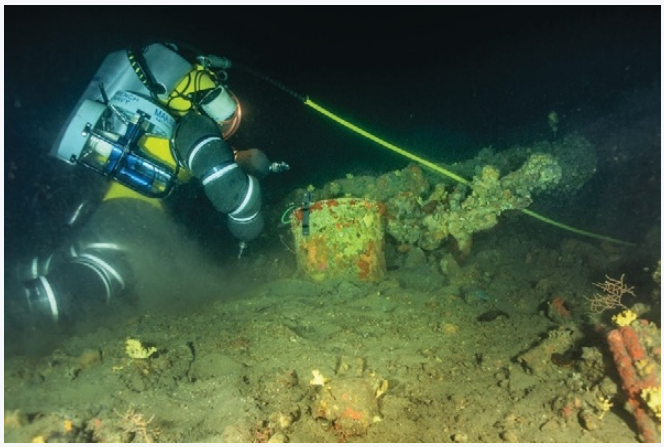
Du 8 au 13 octobre 2012, débute la première campagne d'expertise sur le site de l'épave de la *Lune*.

« Ce que nous sommes en train de fouiller ici, c'est un véritable Pompéi sousmarin. » – Michel L'HOUR

Le programme est ambitieux : en seulement 5 jours, de nouvelles technologies doivent être testées. Paul-Henri NARGEOLET fait également partie de l'aventure en tant que conseiller technique.

Trois navires sont affrétés et doivent de manière concomitante déployer les hommes et les engins :

- Le navire *Jason* de la Marine nationale gère les plongées des scaphandriers équipés du *NewtSuit*. Au total, deux plongeurs *Newtsuit* vont se relayer sur la *Lune*.
  Le *Newtsuit* est un scaphandre rigide adapté aux grands fonds (déminage, intervention sur sous-marin en détresse...), capable de résister à la pression jusqu'à 300 mètres de profondeur. Le scaphandrier atteint l'épave de la *Lune* en 4 minutes et peut rester sur le fond pendant plusieurs heures.
- Le navire *André Malraux* du DRASSM affrète un robot sous-marin qui, grâce à ses bras articulés, récupère sur le fond des vestiges qu'il dépose ensuite dans une cage remontée à la surface. Équipé d'une caméra, le robot téléopéré retransmet des images en direct, à bord du navire.
- Le navire *Minibex* de la COMEX met à l'eau le *Remora 2000* piloté par Yvan TCHERNOMORDIK dit « Popof » accompagné du caméraman Denis LAGRANGE. Ce sous-marin d'observation biplace, capable de plonger jusqu'à 610 mètres, est chargé d'accumuler les images 3D en vue du documentaire pour ARTE.



Le scaphandrier Joe KIRSCH équipé du NewtSuit en plongée sur le site de la Lune © Frédéric Osada-Teddy Seguin/DRASSM

Équipé d'un prototype de caméra permettant de filmer l'épave en relief, le *Remora 2000* survole l'ensemble de l'épave. Un robot contrôlé à distance, lui aussi équipé d'une caméra, est également déployé.

L'objectif est de survoler les cuisines (riches en objets) dont les images vont permettre aux ingénieurs de Dassault Système de reconstituer en images 3D cette partie de l'épave pour en faciliter l'étude.

Une couverture photo et cartographique de l'épave est également menée par l'Université de Gérone (Espagne).

Au cours de cette campagne, de nombreux prélèvements d'objets pour échantillonnage et expérience de traitement sont effectués par le scaphandre *NewtSuit* et les robots téléopérés *Achille*, *Perseo* et *Ulisse* : 2 chaudrons, une douzaine de pièces de céramique (albarello, bouteilles, tasses, assiettes, pots, écuelles, fragment de jarre), briques de terre cuite, 1 dame-jeanne en verre.

Outre les pièces d'artillerie observées en 1993, le site révèle également de nombreuses pièces d'armement telles que des mousquets et des épées offrant un objet d'étude sur l'armement du 17e siècle.

L'observation de l'épave et de ses vestiges a permis aux archéologues de mieux comprendre les causes du naufrage.

Il semble certain que l'état de délabrement de la *Lune* ne lui a pas permis de résister à la tempête. Ainsi, le Sieur de Verdille, commandant de la Lune, a indiqué lors des auditions d'enquête qu'il était de contraint de mobiliser 100 hommes jour et nuit pour faire fonctionner les pompes car le navire ne cessait de faire massivement de l'eau.

Il reste aux archéologues à identifier la ou les pièce(s) qui a (ont) soudainement lâché (galbord, liaison étrave quille...).

En décembre 2012, le documentaire réalisé par ARTE intitulé « Opération Lune, l'épave cachée du Roi-Soleil » est diffusé en première partie de soirée.

Le programme de recherche et de développement Corsaire Concept

En 2013, le projet mené entre le DRASSM et la Fondation de coopération scientifique (fondée par l'ENSTA ParisTech) aboutit à la mise en place d'un programme de recherche et de développement baptisé CORSAIRE CONCEPT : Consortium Opérationnel en Robotique Sous-marine pour l'Archéologie Innovante et la Récupération d'Épaves.

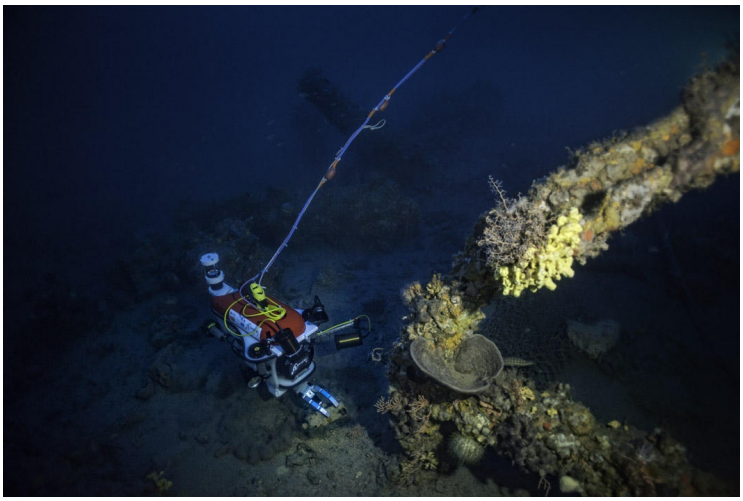
Ce programme se propose de développer un système robotique de toute nouvelle génération capable d'effectuer jusqu'à 2 000 mètres de profondeur toutes les manipulations actuellement effectuées par faible fond par un archéologue sous-marin. Ce robot doit être capable de collecter des objets et d'effectuer de la cartographie 3D.

Alors que le DRASSM a déjà recensé 300 épaves intéressantes situées entre 300 et 1 000 mètres de profondeur, ce chantier préfigure l'archéologie sous-marine de demain avec la conception « *d'une famille de robots capables de travailler comme un humain, peu importe la profondeur et la pression. On doit obtenir la même maniabilité, la même finesse que si on le faisait soi-même.* » – Michel L'HOUR

En octobre 2013, une seconde campagne sur la Lune est interrompue en raison de mauvais résultats.

Speedy

En octobre-novembre 2014 débute une 3e campagne d'expertise sur le site de l'épave de la *Lune*. L'objectif est d'expérimenter le robot baptisé *Speedy* réalisé par le Laboratoire d'informatique, de robotique et de microélectronique de Montpellier (LIRMM), sous la houlette de Vincent CREUZE, responsable scientifique (robotique) du projet CORSAIRE CONCEPT.

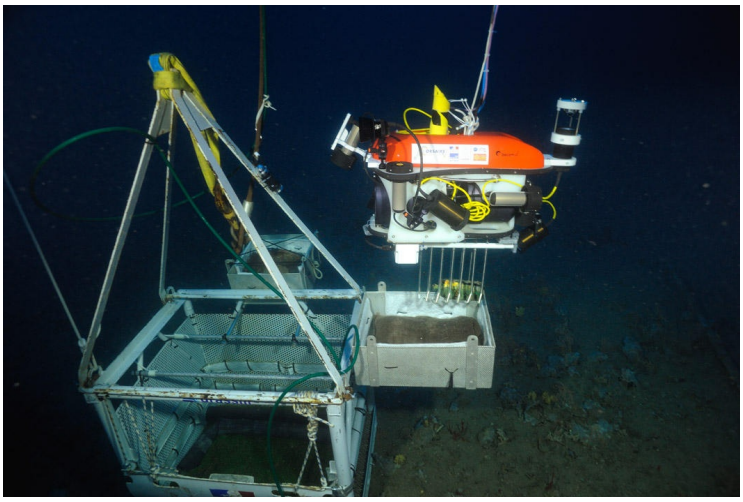


Le robot sous-marin Speedy équipé de la main robotisée. Il est relié au navire par un ombilical qui assure son alimentation électrique et les échanges d'information avec les archéologues. © Teddy Séguin/ Frédéric Osada/ DRASSM/ Images Explorations

Mesurant 70 centimètres de long et pesant 30 kg, *Speedy* est doté d'un axe pivotant permettant d'adapter au choix une main à trois doigts de 1,5 fois la taille de celle d'un homme (mise au point par la société héraultaise Techno Concept) ou des griffes, conçues toutes les deux, pour saisir les objets.

Le robot expérimental est également équipé d'une caméra omnidirectionnelle qui offre une vision panoramique (360°).

Speedy parvient à atteindre le site de l'épave en 5 minutes et à collecter plusieurs objets sans les abîmer : des bouteilles en verre, un albarello, plusieurs pots, plats et bouteilles en terre cuite vernissée.



Le robot sous-marin Speedy, équipé de griffes qui s'entrecroisent, a prélevé une bouteille en verre qu'il dépose dans un panier. © Teddy Séguin/ Frédéric Osada/ DRASSM/ Images Explorations

> *Les technologies qui se révèlent performantes sur la Lune seront transposables aux fouilles archéologiques par grands fonds, à 300 mètres et au-delà.*
>
> **Michel L'HOUR**

99

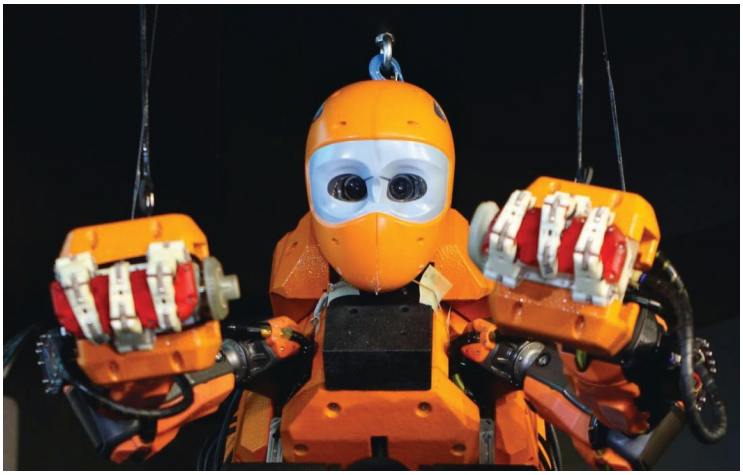
Mais *Speedy* n'a pas donné entière satisfaction et Michel L'HOUR préfère continuer à « *faire des essais, sans précipitation, pour élaborer des méthodes et des machines opérationnelles à l'horizon 2020.* »



Vincent CREUZE et Gilles LOPEZ (Techno Concept) manipulent la main robotique, dont la conception mécanique innovante permet une saisie très délicate des objets. © Teddy Séguin/ Frédéric Osada/ DRASSM/ Images Explorations

> *Si l'on pouvait fouiller ces sites aussi bien que des épaves gisant à vingt mètres de profondeur, on pourrait recueillir un grand nombre d'informations historiques inédites. Une nécessité d'autant plus urgente que ces sites archéologiques sont aujourd'hui menacés par les chalutiers qui raclent les fonds marins.*
>
> **Michel L'HOUR**

Michel L'HOUR va alors se rapprocher de l'équipe du laboratoire de robotique de l'Université de Stanford (Californie) dirigée par Oussama KHATIB qui travaille depuis plusieurs années à la conception d'un robot humanoïde sous-marin.



Ocean One © Teddy Séguin - Frédéric Osada - DRASSM - Images Explorations

> *À terme, l'idéal serait de pouvoir enfiler un casque de réalité virtuelle qui reproduise un site archéologique dans son intégralité et de manœuvrer un avatar de robot sous-marin dont chaque mouvement serait reproduit à l'identique dans la réalité. En enfilant des gants, un archéologue pourrait alors fouiller des épaves, jusqu'alors inaccessibles, comme s'il y était. Après chaque journée de fouille, l'épave virtuelle serait remise à jour en intégrant les modifications apportées sur l'épave réelle : récupération d'objets, etc.*
>
> **Michel L'HOUR**

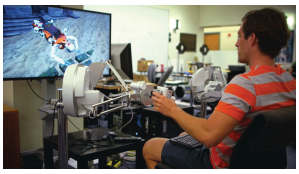
99

Le concept *Ocean One*

Le concept d'*Ocean One* a tout d'abord été imaginé pour étudier les récifs coralliens de la mer Rouge, dans le cadre d'une collaboration entre l'Université de Stanford et le laboratoire de biologie marine de l'Université KAUST (Université des sciences et technologies du Roi Abdallah en Arabie Saoudite).

En effet, l'exploration et la surveillance de ce type d'écosystèmes marins restent coûteuses et difficiles car elles nécessitent l'intervention de plongeurs qui sont limités par la profondeur et par le temps passé au fond.

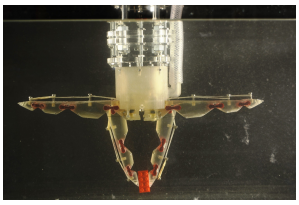
L'utilisation de robots sous-marins actuels lourds et encombrants ne donnent pas non plus entière satisfaction car ils ne disposent pas de la dextérité humaine pour, par exemple, effectuer des manipulations précises (prélèvements d'échantillons...).



L'opérateur ressent les forces de contact exercées sur les bras du robot. © Teddy Séguin - Frédéric Osada - DRASSM - Images Explorations

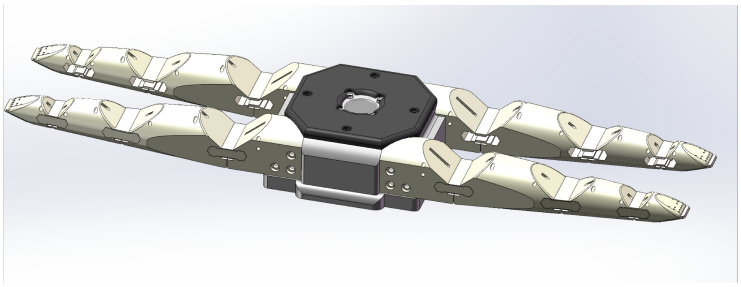
En avril 2012, le laboratoire de robotique de l'Université de Stanford (Californie), dirigé par Oussama KHATIB, et Meka Robotics se lancent donc dans la conception d'*Ocean One* : un robot semi-autonome équipé de deux bras contrôlés à distance via une interface haptique permettant à l'opérateur de ressentir les forces de contact exercées sur les bras du robot.

Les équipes de l'Université de Stanford ont conçu une main sous-actionnée, souple et actionnée par câbles. Les doigts sont flexibles et conçus pour résister aux impacts accidentels. Les câbles et les articulations ont été pensés de façon à offrir une facilité de fermeture tout en maintenant la rigidité du doigt. Cela permet à la main de pincer aussi bien, des petits objets que des grands.



La main peut saisir du bout des doigts un Lego ou empoigner un objet plus encombrant © Université de Stanford

La souplesse latérale des doigts leur permet de s'opposer directement les uns aux autres pour pincer ou de glisser les uns sur les autres pour empoigner.



La main sous-actionnée du robot humanoïde © Université de Stanford

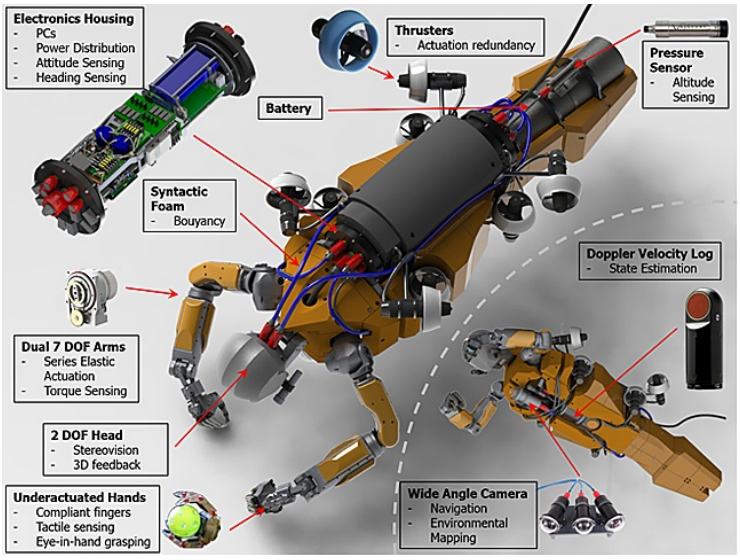


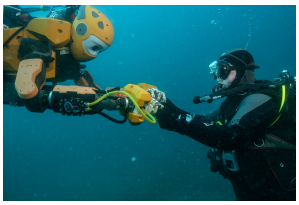
Schéma présentant les principales caractéristiques d'Ocean One © Université de Stanford

Le robot est une machine qui restituera, même quand on sera à 2 000 mètres de fond, à l'archéologue qui aura une vision en 3D du site, la notion du toucher.

Ocean One

Entre le 10 et le 15 avril 2016, les équipes du DRASSM, de l'Université de Stanford et du LIRMM ont testé, avec succès, en conditions réelles, le premier archéologue humanoïde baptisé *Ocean One*.

Lors de cette plongée, l'opérateur était assis à bord du navire de recherche André Malraux pendant que le robot *Ocean One* était mis à l'eau.



Michel L'HOUR en plongée avec Ocean One
© Frédéric Osada-Teddy Seguin/DRASSM

L'opérateur a piloté *Ocean One* à l'aide d'une caméra placée dans les « yeux » du robot. Il a également manipulé les bras et les mains au moyen de joysticks haptiques (Force Dimension) lui permettant de ressentir les éventuelles résistances rencontrées par le robot.

Les mains d'*Ocean One* sont en effet équipées de capteurs de force qui répercutent les efforts ressentis à l'opérateur en surface en utilisant un retour d'information haptique.

L'opérateur peut donc sentir si un objet, tenu par les mains du robot, est léger ou lourd, mou ou dur, coincé ou libre... Cette sensibilité devrait être renforcée, dans le futur, grâce à des capteurs placés dans les doigts.

Lors de cette plongée test, *Ocean One* a récupéré un pot en céramique sur le site de la *Lune*. L'opérateur a pu sentir les contours du pot et évaluer son poids avant de le déposer dans l'un des paniers remontés à la surface.



Oussama KHATIB et Michel L'HOUR tenant le pot en céramique prélevé par Ocean One © Frédéric Osada-Teddy Seguin/DRASSM

Depuis des mois, à Stanford University, au DRASSM, au LIRMM, chacun avait préparé intensément cette opération. Avant même de plonger, nous connaissions parfaitement l'ensemble des mouvements que nous allions accomplir. Pourtant, voir Ocean One évoluer sur l'épave de la Lune nous a tous émerveillé. L'émotion à bord était palpable, intense. Nous étions conscients d'être les témoins privilégiés de

la naissance d'un extraordinaire outil d'exploration sous-marine.

Vincent CREUZE

99

Doté de capacités humaines, *Ocean One* est, en quelque sorte, un avatar de l'archéologue sous-marin.

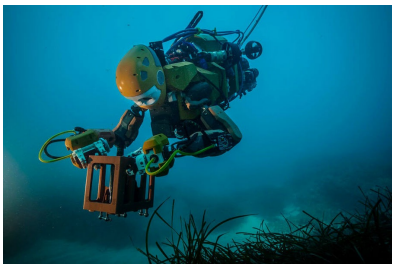
Il mesure 2 mètres de long et pèse 180 kg. Son corps, en matériau composite orange, est équipé :

- d'une tête et de 2 yeux équipés de caméras,
- de 2 bras à 7 articulations prolongés de mains à 3 doigts,
- de 8 propulseurs pour se déplacer

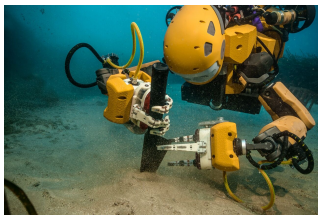
Cette silhouette a été préférée car nous souhaitions fabriquer un robot fluide capable de glisser et de se déplacer dans l'eau avec aisance. Au final, la forme humaine permet une convergence de beaucoup de capacités dans un système compact.

Oussama KHATIB

99



Ocean One sur le terrain © Frédéric Osada-Teddy Seguin/DRASSM



Ocean One sur le terrain © Frédéric Osada-Teddy Seguin/DRASSM

Grâce à la mesure des efforts mécaniques des bras et à deux interfaces haptiques – sortes de joysticks restituant les forces et les couples mécaniques – le robot sous-marin transmet à l'archéologue resté en surface ce qu'il « ressent » simultanément en profondeur.

Ainsi, en milieu hostile, la manipulation complexe d'objets fragiles devient possible puisque le geste robotisé, prolongé de l'humain, restitue au pilote la sensibilité intrinsèquement liée à ce sens du toucher.

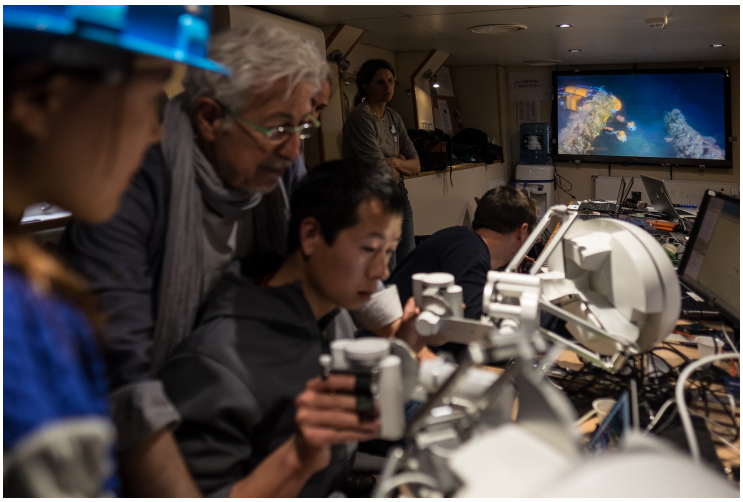
Nous avons utilisé le même concept que pour les robots d'assistance chirurgicale avec lesquels le chirurgien ressent la texture des tissus qu'il incise.

Quand on utilise le robot, on sent le contact. Quand on touche quelque chose on le sent dans les mains de l'opérateur. Comme si les mains de l'opérateur étaient virtuellement dans l'eau.

Oussama KHATIB

99

Ocean One est relié au robot sous-marin Léonard (situé 3 mètres plus haut), développé par le LIRMM, qui soutient automatiquement le cordon ombilical, évitant les effets perturbateurs des courants marins et fournissant à l'opérateur une vue surplombante.



Oussama KHATIB et l'opérateur Brian SOE : ce que touche Ocean One, l'archéologue le ressent à son tour, grâce à des sortes de joysticks, appelés interfaces haptiques, restituant les forces. © Frédéric Osada-Teddy Seguin/DRASSM

> *« Un grand volume de données doit être échangé avec le contrôle notamment les images HD des caméras. Ce qui nécessite une très grande bande passante et donc une liaison filaire car les ondes électromagnétiques ne se propagent pas sous la mer. Mais à terme Ocean One pourrait être équipé d'un modem optique qui permettra une communication sans fil avec le robot suiveur. »*
>
> **Vincent CREUZE**

99

Prochaine étape pour *Ocean One* : intervenir sur une épave à 400 mètres de fond. Il devrait alors bénéficier d'une main comptant non plus trois doigts, mais quatre ou cinq.

Ocean One va apporter une nouvelle manière de faire des explorations sous-marines. L'idée est de permettre à un plongeur de plonger virtuellement en créant un robot qui serait son prolongement physique.

Notre robot plongeur humanoïde doit être capable de faire des choses « manuellement ». Il a donc deux mains. Une vision stéréoscopique. Et le plus incroyable avec ce robot c'est que vous pouvez ressentir ce qu'il fait tout en restant assis à bord du bateau !

Grâce à différentes technologies, on peut reproduire les sensations de résistance des

objets. C'est comme si vous y étiez. Avec cette « sensation de toucher », on crée une nouvelle dimension dans la perception de l'environnement.

Oussama KHATIB

99

Remerciements

Nous remercions tout particulièrement Michel L'HOUR, Vincent CREUZE et Oussama KHATIB pour leurs relectures attentives.

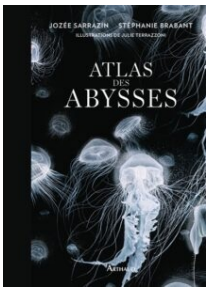
Avec l'aimable collaboration du DRASSM, de l'Université de Stanford et du Laboratoire d'informatique, de robotique et de microélectronique de Montpellier.

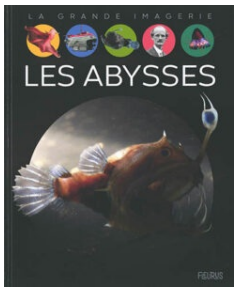
Suggestions de lectures de nos documentalistes

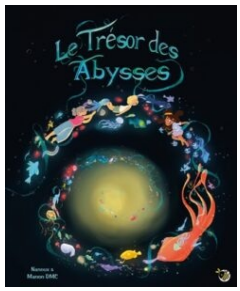


Pour approfondir votre curiosité sur le monde des abysses, les documentalistes de la Médiathèque de La Cité de la Mer vous invitent à venir consulter sur place ou emprunter les ouvrages suivants :

- *Atlas des abysses* de Jozée SARRAZIN, ado/adulte
- *Les abysses* de Laure CAMBOURNAC, 6-9 ans
- *Le trésor des abysses* de Nanoux et Manon DMC, 5-8 ans
- *Abysses : L'odyssée des hommes sous la mer* de Michel VIOTTE, ado/adulte







Voir les horaires d'ouverture de la Médiathèque